

Atf İçin: Taşer A, Güldüren M. E, Güney H, 2021, Pb Katkısının MgO İnce Film Üzerine Etkisinin İncelenmesi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3): 2001-2008

To Cite: Taşer A, Güldüren M. E, Güney H, 2021, Investigation of the Effect of Pb doping on MgO Thin Film. Journal of the Institute of Science and Technology, 11(3): 2001-2008

Pb Katkısının MgO İnce Film Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Ahmet TAŞER^{1*}, Muhammed Emin GÜLDÜREN², Harun GÜNEY³

ÖZET: Bu çalışmada ilk kez Kurşun (Pb) katkı maddesinin ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyon tekniği (SILAR) kullanılarak cam altlıklar üzerine üretilen Magnezyum oksit (MgO) ince filmler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Numunelerin optik, yapısal ve morfolojik özelliklerinin nasıl etkilendiğini incelemek için Uv-vis Spektroskopi, X-ışını kırınımı (XRD), ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ölçümleri yapılmıştır. Uv-vis Spektroskopi analizinde Pb katkı konsantrasyonlarının artması ile MgO numunelerinin bant boşluklarının 4 eV'den 3.75eV'ye düştüğü kaydedildi. Ayrıca Pb katkısının artmasıyla MgO nanoyapılarının geçirgenlik değerlerinin artmakta olduğunu göstermektedir. XRD ölçümlerine göre, numunelerin kübik yapısının yanı sıra Pb katkı maddesinin artması nedeniyle MgO ince film numunelerinde PbO oluşumları tespit edilmiştir. SEM ölçümleri, tüm numunelerin nanotel yapısına sahip olmasına rağmen, Pb katkı maddesi ile yapılarında ciddi değişiklikler olduğunu gösterdi. Bu sonuçlar ışığında, MgO ince filmler üzerinde Pb katkısının SILAR biriktirme tekniği kullanılarak elde edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: SILAR tekniği, MgO ince film, Pb katkılı,

Investigation of The Effect of Pb Doping on MgO Thin Film

ABSTRACT: In this study, the effect of Lead (Pb) additive on magnesium oxide (MgO) thin films produced on glass substrates using sequential ionic layer adsorption and reaction technique (SILAR) was investigated for the first time. Uv-vis Spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM) measurements were performed to examine how the optical, structural and morphological properties of the samples were affected. In the Uv-vis Spectroscopy analysis, it was recorded that the band gaps of the MgO samples decreased from 4 eV to 3.75 eV with the increase of Pb dopant concentrations. It also shows that the permeability values of MgO nanostructures increase with the increase of Pb contribution. According to XRD measurements, PbO formations were detected in MgO thin film samples due to the increase in Pb additive as well as the cubic structure of the samples. SEM measurements showed that, although all of the samples have a nanowire structure, they showed serious changes in their structure with the Pb additive. In the light of these results, it shows that Pb doping on MgO thin films can be obtained by using the SILAR deposition technique.

Keywords: SILAR technique, MgO thin film, Pb doped

¹Ahmet TAŞER ([Orcid ID: 0000-0003-4563-160X](https://orcid.org/0000-0003-4563-160X)), Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Patnos Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Ağrı, Türkiye

²Muhammed Emin GÜLDÜREN ([Orcid ID: 0000-0002-9769-0559](https://orcid.org/0000-0002-9769-0559)), Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Ağrı, Türkiye

³Harun GÜNEY ([Orcid ID: 0000-0001-9877-2591](https://orcid.org/0000-0001-9877-2591)) Atatürk Üniversitesi, Hıms Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ahmet TAŞER, e-mail: ataser@agri.edu.tr

GİRİŞ

Teknolojik uygulamalarda önemli bir yer alan Magnezyum oksit (MgO) malzemeler şeffaf oksit ailesinden olup kübik kristal yapıya sahiptir. Kimyasal ve termal kararlılık özelliklerinden (Tellez ve ark., 1999), toksisite içermemesi ve bol miktarda (Cai ve ark., 2018) bulunmasından dolayı büyük ilgi görmeye başlamıştır. MgO malzemesi 3.5-5.67 eV aralığında doğrudan enerji bandı aralığına (Mageshwari ve ark., 2013; Diachenko ve ark., 2016) ve %90'a yakın yüksek iletim değerlerine (Diachenko ve ark., 2016) sahiptir. Bu temelde, MgO ince filmler, Yüksek dayanıklılıkları, iyon bombardımanına karşı iyi koruma özellikleri, yüksek ikincil elektron emisyon katsayısı ve yüksek şeffaflığı nedeniyle AC-plazma ekran panelleri için koruyucu bir katman olarak yaygın şekilde kullanılırlar (Choi ve ark., 1998). Ayrıca Magnezyum oksit (MgO) ince filmler; optoelektronik cihazlar (Gu ve ark., 2016), ışık yayan diyotlar (Idris ve ark., 2019), piezoelektrik cihazlar, fotodetektörler, sensörler ve güneş pilleri (Zulkefle, 2012), plazma paneller (Jung ve ark., 2002), akıllı ve giyilebilir cihazlar, elektrokromik cihaz, atık su arıtma (Srivastava, 2015), ilaç dağıtımı ve sağlık hizmetleri endüstrisinde (Di, 2012) önemli bir role sahiptir.

MgO ince film araştırmalarında, darbeli lazer biriktirme (Ishiguro ve ark., 1996), kimyasal buhar biriktirme (Carta ve ark., 2007), metal-organik moleküler ışın epitaksi(Niu ve ark., 2000), reaktif püskürtme (Choi ve Kim, 2004), e-ışın buharlaştırma (HsuandRaj, 1992), sprey pirolizi (Yi ve ark., 1996), sol-jel (Yoonve Kim, 1997) ve SILAR (Güney ve İskenderoğlu, 2018) gibi birçok ince film üretim teknikleri kullanılmıştır.

Tüm bu üretim teknikleri, uygulama çeşitliliğine bağlı olarak farklı avantajlar sunar. Bu teknikler içinde nano yapılı ince filmler büyütme için çözelti bazlı atomik katman biriktirme (SALD) veya modifiye kimyasal banyo biriktirme (M-CBD) olarak da bilinen SILAR tekniği basitliği, düşük maliyeti, hafif reaksiyon koşulları, tekrarlına bilirliliği, mükemmel malzeme kullanım verimliliği, biriktirme işlemi üzerinde iyi kontrol ve geniş alan biriktirme için fizibilitesi vb. nedenlerden dolayı çok fazla tercih edilen bir üretim tekniği olarak rapor edilmiştir (Ghosh ve ark., 2008;Mali ve ark., 2012;Mageshwari veSathyamoorthy, 2013; Taşdemirci, 2019).

Katkılama tekniği, metal oksitlerin fizikokimyasal özelliklerinde değişim yapmak için önemli bir yaklaşımdır ve bu malzemeler için özel fonksiyonların ortaya çıkmasının temelini oluşturur (Wu ve ark., 2017). Maiti ve ark., Al katkılı MgO filmin, saf MgO filminkinden daha yüksek bir geçirgenlik gösterdiğini bulmuşlardır. MgO'nun manyetik özellikleri, Mn ile katkılandıktan sonra diyamanyetikten ferromanyetike değiştirilmiştir (Sharma ve Jeevanandam, 2015). Diğer katkı maddelerine kıyasla, Pb katkılı malzemeler, daha düşük anizotropik alanları ve hızlı kristalleşme süreçleri nedeniyle daha ilginç hale gelmiştir (Yılmaz ve Aydoğan, 2015). Bu nedenle Pb, yarı iletken endüstrisindeki çeşitli uygulamaları olan önemli bir unsurdur (Yousefi ve ark., 2013; Bayansal ve ark., 2015). Pb katkılı yarıiletkenler ile sınırlı sayıda çalışmalar mevcuttur. Bundan dolayı Pb katkısının MgO üzerindeki etkisini anlamak için detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

Bugüne kadar, MgO ince filmlerin SILAR yöntemi ile üretilmesine ilişkin çok az sayıda çalışma mevcuttur (Güney ve İskenderoğlu, 2018; İskenderoğlu veGüney, 2019). Bunun yanı sıra MgO ince filmleri farklı yöntemler kullanılarak üretilmiş literatürde çalışmalar mevcuttur (Płóciennik ve ark., 2016; Yu, 2018; Tlili ve ark., 2020).

Bu çalışmada MgO ince filmlerinin SILAR tekniği ile üretilmesinin amacı birçok uygulama alanına sahip MgO ince filminin daha az maliyetli ve daha basit şartlar altında üretilmesini bildiğini göstermek. Üretilen MgO ince filmlerine diğer katkı elementleri gibi Pb elementinin de basit bir şekilde MgO ince filmine katkılanarak ince filmin yapısal, optik ve morfolojik özelliklerini nasıl etkilediği ve

bu özelliklerinin uygulama alanlarına nasıl bir katkı sağlayabileceği hakkında fikir sahibi olunmasını amaçlamaktayız.

MATERYAL VE METOT

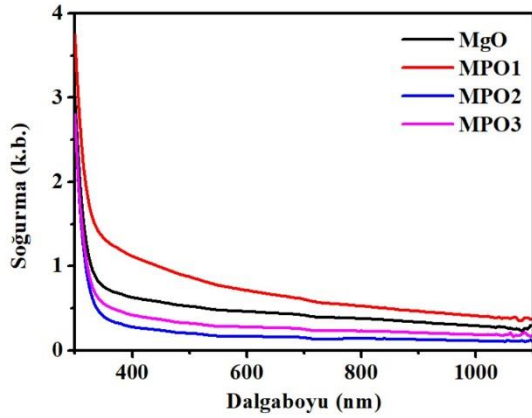
MgO ince filmlerini büyüteceğimiz altlıklar cam lameller olarak seçildi. Cam lameller istenilen boyutlarda kesildi ve temizleme prosedürüne tabi tutuldular. Temizleme prosedürü için 1/5 oranında Deiyonize su ve sülfürik asit çözeltisi hazırlandı ve cam lamellerimiz ultrasonik olarak bu çözelti içinde 5 dakika boyunca yıkamaya bırakıldı. Daha sonra çözülden çıkartılan camlar 5 dakika boyunca deiyonize suda ultrasonik olarak yıkandı. Son olarak camlarımız argon gazı ile kurutularak temizleme prosedürümüz tamamlandı. Temizlenen camlar üzerine MgO ve Pb katkılı MgO ince filmleri büyütmek için SILAR yöntemi kullanıldı. Bu yöntemde katyonik ve anyonik olmak üzere iki çözelti hazırlandı. Katyonik çözeltimiz 0.1 molar (M) magnezyum nitrat ($Mg(NO_3)_2 + 6H_2O$) ve Pb katkısı iyonlarının kaynağı 0.1 M kurşun nitrat ($Pb(NO_3)_2$). Anyonik çözeltimiz, sıcaklığı $90^\circ C$ 'de sabit tutulan DI sudur. Anyonik çözeltinin pH seviyesi, amonyum hidroksit (%29) çözeltisi yardımıyla 11.5'e ayarlandı. Daha sonra, cam altlıklar önce 30 saniye süreyle katyonik çözelti içine daldırıldı ve ardından 30 saniye daha anyonik çözelti içine daldırıldı. Katyonik ve anyonik çözeltiler arasındaki tüm adımlar 30 döngü boyunca tekrar edildi. Biriktirmeden sonra, saf ve Pb katkılı MgO nanoyapıları havayla kurutulur ve son olarak atmosferik havada $400^\circ C$ sıcaklıkta 60 dakika tavlandı. Büyütülen tüm ince filmler 30 döngü gerçekleştirildi. Üretilen ince filmler, saf numunenin MgO, % 1 kurşun katkılı MPO1, % 2 kurşun katkılı MPO2 ve % 3 kurşun katkılı MPO3, olarak adlandırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

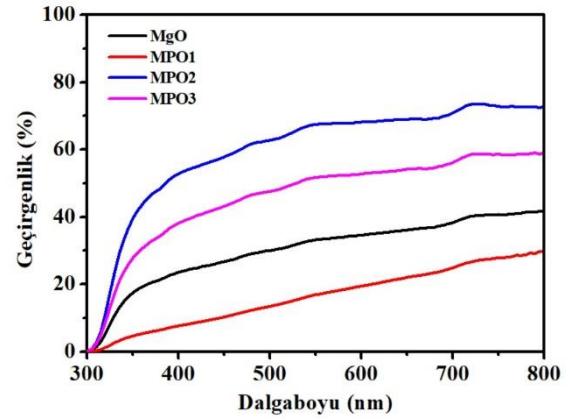
Uv-vis Spektroskopisi Analizi

Üretilen katkısız MgO ve Pb katkılı MgO nanopartiküllerin optiksel özellikleri UV-Vis spektroskopisi ile incelenmiştir. Soğurma ölçümleri katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmlerimiz için 300 ile 1100 nm dalga boyları arasında alınmış ve sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir. Filmlerin soğurma değerleri yaklaşık 350 nm' den daha kısa dalga boylarında keskin bir şekilde artmaktadır. Bu da, sentezlenen malzemelerin görünür ve kızılötesi spektrumunda ki optik şeffaflığını gösterir (Halder ve Bandyopadhyay, 2017). Ayrıca, %1 Pb katkılı MgO nanopartikülleri katkısız MgO nanopartiküllerine göre daha fazla görünür dalga boyunda soğurma yaptığı görülmektedir. Bu yüzden, Pb katkılı MgO nanopartikül yapılar görünür ışık altında daha efektif fotokatalistler olarak faydalı bilinir. Soğurmadaki bu artış, Pb katkılanmasından dolayı MgO ince filmlerinin kristal yapısında ki modifiye edilmiş bölgelerin, katkısız MgO'ya göre, artışı sonucu olarak yorumlanabilir (Vanheusden ve ark., 1995; Ullah ve Dutta, 2008).

Üretilen katkısız MgO ve Pb katkılı MgO ince filmlerinin geçirgenlik spektrumu Şekil 2' de verilmektedir. MgO:Pb ince filmlerinin görünür bölgede yaklaşık olarak %40-72 civarında geçirgenliğe sahip oldukları belirlenmiştir. Geçirgenlik spektrumunda Pb elementinin katkı oranı arttıkça görünür bölgede ortalama geçirgenlik değerinin arttığı görülmektedir. Bu da bağ kurmamış Mg atomlarının üretilen MgO nanopartikül yapılarda çoğaldığı anlamına gelir ve $[Mg]/[O] < 1$ olarak gösterilebilirler (Raj ve ark., 2010). Ayrıca, Pb katkılı MgO ince filmler 350 nm'den daha uzun dalga boyu bölgesindeki yüksek geçirgenlik değerleri gösteriyor, bu da MgO: Pb malzemenin kızılötesi (IR) spektrumları için saydamlığının yüksek olmasına bir işarettir. Buna bağlı olarak, Pb katkılı MgO ince filmler şeffaf seramik endüstrisi için potansiyel bir aday haline gelmektedir (Halder ve Bandyopadhyay, 2017).



Şekil 1. Katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmlerin soğurma grafikleri



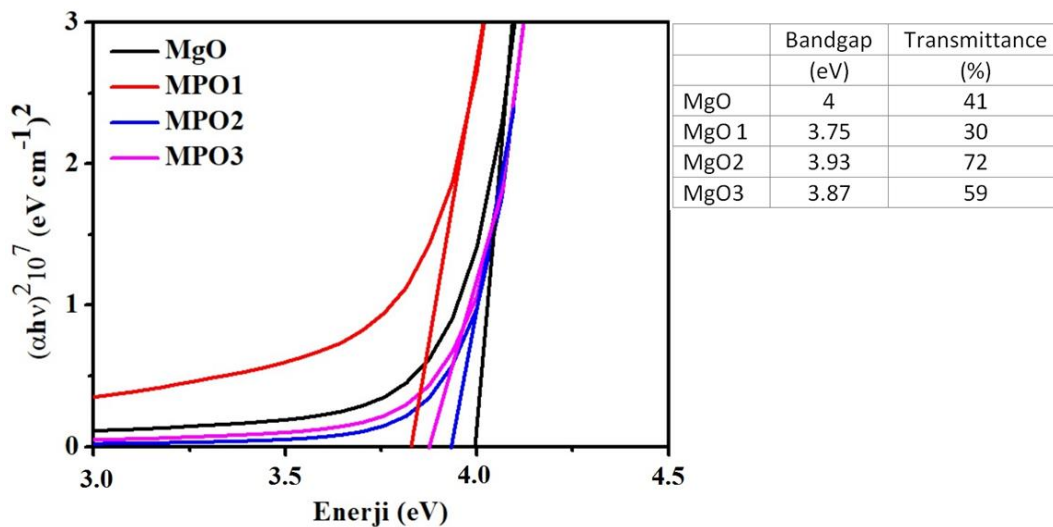
Şekil 2. Katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmlerin geçirgenlik grafikleri

Pb katkılı MgO ince filmlerin enerji band aralıklarının Tauc prensibinden yararlanılarak aşağıda verilen Eşitlik 1 ve 2 yardımı ile hesaplanmıştır (Tepehan ve ark., 1999).

$$\alpha = \frac{\text{Absorbance}}{t} \quad (1)$$

$$(\alpha h\nu) = B (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (2)$$

Burada α soğurma katsayısı, E_g optik band aralığı ve B sabittir. Denklem 1 ve 2 ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda çizilen şekil 3 içerisinde bulunan tabloda görüldüğü gibi katkısız olarak büyütülen katkısız MgO ve Pb katkılı MgO ince filmlerinin band aralığı 3.75 ile 4 eV arasında değişen değerler olarak bulunmuştur. Bant aralığındaki bu varyasyon, katkı maddesinin sentezlenmiş malzeme de varlığını gösterir (El Sayed, 2018). Nano boyutlu MgO filmlerine katkılanan Pb atomları iletim ve valans bandları arasındaki boşlukta yeni enerji seviyelerine neden olabilmektedir. Pb atomlarının katkılanması filmlerin E_g 'sinin 4 eV'den 3.75 eV'e daralmasına yol açar. Pb atomları ile yapılan katkılama, MgO filmlerinin yapısında düzensizlik ve kusur düzeyini artırmış dolayısıyla gözlenen bant aralığı değerlerinde azalmaya sebep olmuştur. Bant aralığı değerlerindeki bu azalma fotokatalitik uygulamalarda yararlanılabilir (Rajendran ve ark., 2018).

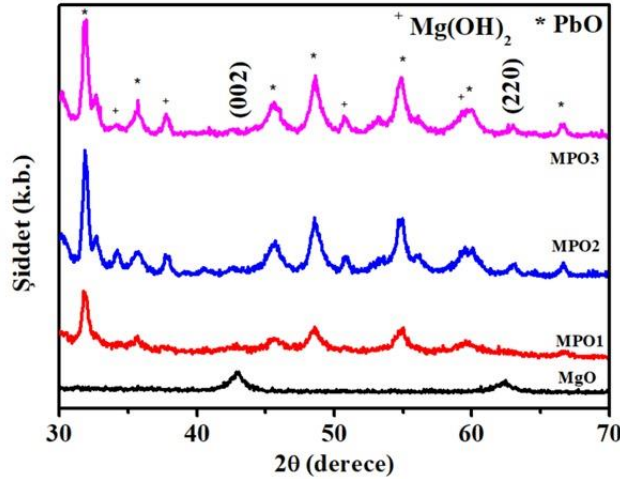


Şekil 3. Katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmlerin band aralığı grafikleri

XRD Analizi

Değişken Pb konsantrasyonlarına sahip saf MgO ve Pb katkılı MgO nanoyapılarının XRD analizi şekil 4'de gösterilmektedir. Saf MgO nanoyapının belirgin ana iki piki, ICSD kart numarası 00-45-

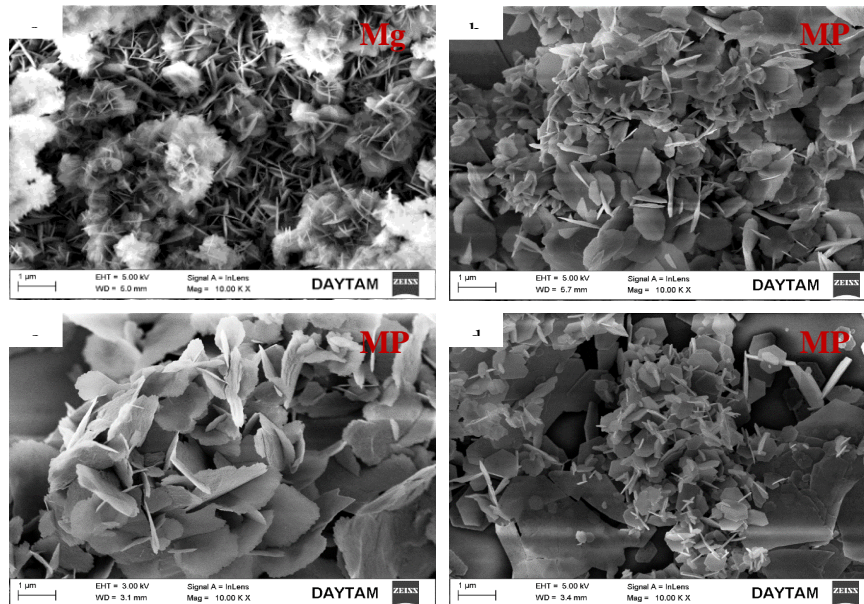
0946'ya göre kübik MgO nanoyapılarının (200) ve (220) yönelimlerine uymaktadır. Pb katkısı ile birlikte, oksit ve oksit olmayan safsızlıklara bağlı bazı pikler gözlemlendi. Katkı konsantrasyonu artması ile piklerde ki belirginlikler artış göstermeye başlıyor. Bu oluşumlar, MgO nanoyapıların kristal örgü içine yerleşen ve Mg atomlarının yerini alan Pb kirlilik atomlarının bir sonucu olarak düşünülebilir. Ayrıca Pb katkı konsantrasyonunun fazla olduğu son durumda kristal yapı içerisindeki PbO yapılarının baskın bir şekilde ortaya çıktığı ve bu yapıların literatürle tutarlı olduğu görülmüştür (Suryawanshi 2018).



Şekil 4. Katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmlerin XRD grafiği

SEM Analizi

Pb katkısının MgO yapısı üzerine morfolojik olarak nasıl etki ettiğini gözlemek üzere numunelerin SEM görüntüleri alınmış ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 5'de katkısız ve %1, %2 ve %3 oranlarda Pb katkılı MgO ince filmlerinin 10.000 defa büyütülmüş SEM fotoğrafları verilmiştir. Şekil 5'den de görüleceği üzere numunelerin hepsi nanoduvar yapısına sahip olmasına rağmen Pb katkısı ile yapılarında ciddi değişimler gözlenmiştir. Bu değişimler altıgen yapıları nanoduvarların boyutlarının değişimleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değişim aynı zamanda bu nanoduvar yapıların yüzeye dik durumundan dönerek yüzeye paralel dönmeye başlamaları şeklinde olmaya başlamıştır. Bu durumun numunelerin geçirgenliklerine etki ettiği düşünülmektedir.



Şekil 5. a) MgO, b) MPO1, c) MPO2 ve d) MPO3 ince filmlerin 10.000 defa büyütülmüş SEM fotoğrafları.

SONUÇ

Bu çalışmada, Katkısız ve Pb katkılı MgO ince filmler ilk kez cam altlık üzerinde SILAR yöntemi ile etkin bir şekilde üretilmiştir. Pb katkısı ile MgO ince filmlerin geçirgenliklerini artırmakta ve band aralığı değerinin 4 eV'den 3.75 eV'a kadar azaldığı görülmektedir. Band aralığının azalması Pb katkı atomlarının MgO ince film yapısındaki düzensizliğe ve kusur düzeylerindeki artışa bağlayabiliriz. XRD sonuçları kübik yapıda MgO ince film piklerini göstermekte ve Pb katkısı ile MgO piklerinin yoğunluklarında genişleme ve düşme gözlemlenmiştir. Ayrıca Pb katkısı arttıkça MgO kristal yapısında PbO yapılarının oluştuğu da gözlemlenmiştir. SEM fotoğraflarında MgO ince filmlerinin nanoduvar yapıda olduğu ve Pb katkısı ile bariz şekilde değişimlerin oluştuğu görülmüştür. Sonuç olarak Pb katkısının MgO ince filmler optik, morfolojik ve yapısal özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu tespit edilmiştir. Bu etkiler sayesinde optik cihaz uygulamalarında başarıyla uygulanabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "PMYO.20.001" kodlu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit katkıda bulduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Bayansal F, Gülen Y, Şahin B, Kahraman S, Çetinkara HA, 2015. CuO nanostructures grown by the SILAR method: influence of Pb-doping on the morphological, structural and optical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 619, 378-382.
- Cai L, Chen J, Liu Z, Wang H, Yang H, Ding W, 2018. Magnesium oxide nanoparticles: effective agricultural antibacterial agent against *Ralstonia solanacearum*. *Frontiers in microbiology*, 9, 790.
- Carta G, El Habra N, Crociani Rossetto G, Zanella P., Zanella A, Tondello E, 2007. CVD of MgO thin films from bis (methylcyclopentadienyl) magnesium. *Chemical vapor deposition*, 13(4), 185-189.
- Choi EH, Oh HJ, Kim YG, Ko JJ, Lim JY, Kim JG, Kang SO, 1998. Measurement of secondary electron emission coefficient (γ) of MgO protective layer with various crystallinities. *Japanese journal of applied physics*, 37(12S), 7015.
- Choi YW, Kim J, 2004. Reactive sputtering of magnesium oxide thin film for plasma display panel applications. *Thin solid films*, 460(1-2), 295-299.
- Di DR, He ZZ, Sun ZQ, Liu J, 2012. A new nano-cryosurgical modality for tumor treatment using biodegradable MgO nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 8(8), 1233-1241.
- Diachenko OV, Opanasuyk AS, Kurbatov DI, Cheong H, 2016. Investigation of optical properties of magnesium oxide films obtained by spray pyrolysis technique. In 2016 IEEE 7th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL) (pp. 31-33). IEEE.
- El Sayed AM, 2018. Modification of the micro-structural and optical properties of nanoparticulate Pb-doped magnesia thin films. *Materials Research Express*, 5(11), 116403.
- Ghosh B, Das M, Banerjee P, Das S, 2008. Fabrication and optical properties of SnS thin films by SILAR method. *Applied surface science*, 254(20), 6436-6440.

- Gu Y, Yang X, Guan Y, Migliorato MA, Zhang Y, 2016. Enhanced electromechanical performance in metal–MgO–ZnO tunneling diodes due to the insulator layers. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 3(9), 1130-1136.
- Güney H, İskenderoğlu D, 2018. Synthesis of MgO thin films grown by SILAR technique. *Ceramics International*, 44(7), 7788-7793.
- Halder R, Bandyopadhyay S, 2017. Synthesis and optical properties of anion deficient nano MgO. *Journal of Alloys and Compounds*, 693, 534-542.
- Hsu WY, Raj R, 1992. MgO epitaxial thin films on (100) GaAs as a substrate for the growth of oriented PbTiO₃. *Applied physics letters*, 60(25), 3105-3107.
- Idris MS, Shanmugan S, Devarajan M, Maryam W, 2019. Influence of molar concentration: sol-gel synthesized magnesium oxide thin films for high power light emitting diode thermal management. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 268(1).
- Ishiguro T, Hiroshima Y, Inoue T, 1996. MgO (200) highly oriented films on Si (100) synthesized by ambient-controlled pulsed KrF excimer laser deposition method. *Japanese journal of applied physics*, 35(6R), 3537.
- İskenderoğlu D, Güney H, 2019. Effect of annealing on the structural, morphological and optical Properties of MgO nanowall structures grown by SILAR method. *Journal of Electronic Materials*, 48(9), 5850-5856.
- Jung HS, Lee JK, Hong KS, Youn HJ, 2002. Ion-induced secondary electron emission behavior of sol-gel-derived MgO thin films used for protective layers in alternating current plasma display panels. *Journal of applied physics*, 92(5), 2855-2860.
- Mageshwari K, Sathyamoorthy R, 2013. Physical properties of nanocrystalline CuO thin films prepared by the SILAR method. *Materials science in semiconductor processing*, 16(2), 337-343.
- Mageshwari K, Mali SS, Sathyamoorthy R, Patil PS, 2013. Template-free synthesis of MgO nanoparticles for effective photocatalytic applications. *Powder technology*, 249, 456-462.
- Maiti P, Das PS, Bhattacharya M, Mukherjee S, Saha B, Mullick AK, Mukhopadhyay AK, 2017. Transparent Al³⁺ doped MgO thin films for functional applications. *Materials Research Express*, 4(8), 086405.
- Mali SS, Shinde PS, Betty CA, Bhosale PN, Oh YW, Patil PS, 2012. Synthesis and characterization of Cu₂ZnSnS₄ thin films by SILAR method. *Journal of physics and chemistry of solids*, 73(6), 735-740.
- Niu F, Hoerman BH, Wessels BW, 2000. Metalorganic molecular beam epitaxy of magnesium oxide on silicon. *MRS Online Proceedings Library*, 619(1), 149-154.
- Płóciennik P, Guichaoua D, Zawadzka A, Korcala A, Strzelecki J, Trzaska P, Sahraoui B, 2016. Optical properties of MgO thin films grown by laser ablation technique. *Optical and Quantum Electronics*, 48(5), 277.
- Raj AME, Jayachandran M, Sanjeeviraja C, 2010. Fabrication techniques and material properties of dielectric MgO thin films—A status review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(2), 92-113.
- Rajendran V, Deepa B, Mekala R, 2018. Studies on structural, morphological, optical and antibacterial activity of Pure and Cu-doped MgO nanoparticles synthesized by co-precipitation method. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 8796-8803.
- Sharma U, Jeevanandam P, 2015. Synthesis of Zn²⁺-doped MgO nanoparticles using substituted brucite precursors and studies on their optical properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 75(3), 635-648.

- Srivastava V, Sharma YC, Sillanpää M, 2015. Green synthesis of magnesium oxide nanoflower and its application for the removal of divalent metallic species from synthetic wastewater. *Ceramics International*, 41(5), 6702-6709.
- Suryawanshi VN, Varpe AS, Deshpande MD, 2018. Band gap engineering in PbO nanostructured thin films by Mn doping. *Thin Solid Films*, 645, 87-92.
- Taşdemirci TÇ, 2019. Study of the physical properties of CuS thin films grown by SILAR method. *Optical and Quantum Electronics*, 51(7), 1-9.
- Tellez DL, Yadava YP, Ferreira JM, Aguiar JA, 1999. Chemical and physical stability of MgO with superconductors. *Superconductor Science and Technology*, 12(1), 18.
- Tepehan FZ, Ghodsi FE, Ozer N, Tepehan GG, 1999. Optical properties of sol-gel dip-coated Ta₂O₅ films for electrochromic applications. *Solar energy materials and solar cells*, 59(3), 265-275.
- Tlili M, Jebbari N, Naffouti W, Kamoun NT, 2020. Effect of precursor nature on physical properties of chemically sprayed MgO thin films for optoelectronic application. *The European Physical Journal Plus*, 135(8), 1-12.
- Ullah R, Dutta J, 2008. Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped ZnO nanoparticles. *Journal of Hazardous materials*, 156(1-3), 194-200.
- Vanheusden K, Warren WL, Voigt JA, Seager CH, Tallant DR, 1995. Impact of Pb doping on the optical and electronic properties of ZnO powders. *Applied physics letters*, 67(9), 1280-1282.
- Wu Y, Yang X, Li J, Rao KV, Belova L, 2017. Solution processed room temperature ferromagnetic MgO thin films printed by inkjet technique. *Materials Letters*, 196, 388-391.
- Yi X, Wenzhong W, Yitai Q, Li Y, Zhiwen C, 1996. Deposition and microstructural characterization of MgO thin films by a spray pyrolysis method. *Surface and Coatings Technology*, 82(3), 291-293.
- Yilmaz M, Aydoğan Ş, 2015. The effect of Pb doping on the characteristic properties of spin coated ZnO thin films: Wrinkle structures. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 40, 162-170.
- Yoon JG, Kim HK, 1997. Structural characterization of sol-gel derived MgO thin film on Si substrate. *Journal-Korean Physical Society*, 31, 613-616.
- Yousefi R, Jamali-Sheini F, Sa'aedi A, Zak AK, Cheraghizade M, Pilban-Jahromi S, Huang NM, 2013. Influence of lead concentration on morphology and optical properties of Pb-doped ZnO nanowires. *Ceramics International*, 39(8), 9115-9119.
- Yu HK, 2018. Secondary electron emission properties of Zn-doped MgO thin films grown via electron-beam evaporation. *Thin Solid Films*, 653, 57-61.
- Zulkefle H, Ismail LN, Bakar RA, Mamat MH, Rusop M, 2012. Enhancement in dielectric constant and structural properties of sol-gel derived MgO thin film using ZnO/MgO multilayered structure. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2(1), 38.